

*Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I., Cherkashov G., Stepanova T., Shilov V., Pertsev A., Davydov M., Egorov I., Melekestseva I., Narkevsky E., Ignatov V.* A new hydrothermal field at 13°31' N on the Mid-Atlantic Ridge // *InterRidge News*. 2007. Vol. 16. P. 9–10.

*Butler I. B., Nesbitt R. W.* Trace element distribution in the chalcopyrite wall of a black smoker chimney: Insights from laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) // *Earth and Planetary Science Letters*. 1999. Vol. 167. P. 335–345.

*Firstova A., Cherkashev G., Stepanova T., Babaeva S.* Rare elements in seafloor massive sulfides of the Semyenov hydrothermal cluster, Mid-Atlantic Ridge // *UMI–2014. Harvesting Seabed Mineral Resources in Harmony with Nature*. Lisbon, 2014. P. 131–139.

*Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V.* Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposit (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICPMS) // *Economic Geology*. 2009. Vol. 104. P. 1111–1141.

**И. А. Сергеева**

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
soki123@list.ru*

**Арсенидная и сульфидная минерализация месторождения  
Шлема-Альбероде (Рудные горы, Германия)  
(научные руководители В. Г. Кривовичев, Е. Н. Перова)**

В настоящей работе представлены результаты минералогического исследования рудных минералов – сульфидов и арсенидов месторождения Шлема-Альбероде из коллекции Томаса Шлотхауэра (Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия) и В. Г. Кривовичева (СПбГУ, г. Санкт-Петербург). Месторождение Шлема-Альбероде находится в Рудных горах (герцинская складчатость) и является крупнейшим гидротермальным месторождением урана. Рудная минерализация приурочена к жилам пятиэлементной формации, которые образуют штокверк в экзоконтакте гранитного купола [Величкин, Власов, 2011]. Продуктивной толщей являются амфиболиты и сланцы верхнего ордовика.

Интенсивное изучение и разведка этого месторождения начались после Великой Отечественной войны Советско-Германским Акционерным обществом «Висмут», и многие данные по минералогии и геологии объекта были засекречены, а внимание геологов, в основном, уделялось урановой минерализации. Сейчас месторождение находится в законсервированном состоянии. Штольни и шахты забетонированы, но отвалы остались разбросанными на территории в несколько десятков квадратных километров. В связи с этим, весьма актуальным стало изучение вещественного состава фрагментов гидротермальных жил, которые слагают основную массу рудных отвалов. Результаты настоящей работы имеют не только научный, но и экологический интерес, что связано с очень широким распространением минералов мышьяка и селена. Отсюда и вытекает главная цель работы – изучение минерального состава руд отвалов месторождения Шлема-Альбероде.

Минералы диагностировались в отраженном свете, с использованием рентгенодифракционных методов – порошкового анализа, анализа в точке, и рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа. В результате установлено 30 мине-

ральных видов, которые относятся к металлам, полуметаллам, сульфидам, персульфидам, арсенидам, селенидам, оксидам, силикатам, сульфатам, карбонатам, фосфатам и фторидам. В задачи настоящего исследования входила характеристика лишь главных породообразующих минералов (арсениды, селениды, сульфиды).

К главным минералам относятся никелин, раммельсбергит, леллингит, саффлорит, скуттерудит, никельскуттерудит, самородный висмут, кварц и карбонаты; к второстепенным – уранинит, пирит, халькопирит, гипс, самородный мышьяк, самородное серебро; к редким – лайтакарит, арсенопирит, кобальтин, галенит, висмутин, рутил, браннерит, циркон, фторапатит, гематит, мусковит, флюорит.

*Никелин* ( $NiAs$ ) – один из главных минералов в исследованных образцах. Он встречается в виде сплошных массивных агрегатов, иногда образуя почковидные выделения. Часто ассоциирует с раммельсбергитом, содержит зерна уранинита и пересекается прожилками самородного висмута. Состав минерала постоянный: As 55.30 мас. %, Ni 44.7 мас. %.

*Раммельсбергит* ( $NiAs_2$ ) является одним из главных минералов и представлен сплошными массами, реликтами в никелине или развивается по нему. По морфологии зерен выделяется две генерации минерала, отличающиеся также по химическому составу. Содержание As в минерале составляет 57–70 мас. %. Характерны примеси серы (до 10 мас. %), Fe (до 11 мас. %) и Co (до 14 мас. %). Ранний раммельсбергит содержит прожилки висмута и часто образует широкие каемки вокруг лайтакарита. В нем прослеживается зависимость содержания серы от никеля (рис. 1). Поздний раммельсбергит, который составляет основную, часто трещиноватую массу многих образцов, содержит 1–3 мас. % серы, зависимость содержаний серы и никеля не наблюдается. Коэффициент корреляции между содержаниями серы и никеля в раннем раммельсбергите равен 0.77 (при доверительной вероятности 0.95) (см. рис. 1). Такая зависимость связана с определенной схемой изоморфизма  $NiAs_2$  и  $NiS$ . Атомный вес серы значительно ниже веса мышьяка, поэтому относительное массовое количество никеля увеличивается с увеличением содержания серы. Весовой процент никеля в  $NiAs_2$  составляет 28.13 %, в то время как весовой процент Ni в  $NiS$  равен 64.67 %, что и обуславливает данную зависимость. Эта схема изоморфизма подтверждается зависимостью мышьяка от серы: ее коэффициент корреляции равен 0.98 (доверительная вероятность 0.95). В минерале также прослеживается слабая зависимость содержания серы от суммы содержаний железа и кобальта (коэффициент корреляции равен 0.73 при доверительной вероятности 0.95) (рис. 2). Это, видимо, связано с определенной схемой изоморфизма  $NiAs_2$  и  $CoS_2$ ,  $CoAsS$ , реже –  $FeS_2$  или  $FeAsS$ , и тоже вносит свой вклад в корреляцию Ni-S.

*Леллингит* ( $FeAs_2$ ) встречается преимущественно в виде идиоморфных ромбовидных или призматических кристаллов, которые образуют двойники и тройники. Кристаллы иногда представлены в виде обломков, что позволяет предполагать их раннюю кристаллизацию. Химический состав леллингита непостоянен с переменным отношением Fe:As. Содержания железа колеблются от 23 до 26 мас. %, а мышьяка – от 70 до 75 мас. %. В небольших количествах установлена примесь S (до 4 мас. %) и, изредка, Sb (0.01 мас. %).

*Саффлорит* ( $CoAs_2$ ) образует ромбические кристаллы, местами брекчированные и сцементированные самородным висмутом (ранняя генерация), и более распространенные сплошные агрегаты в ассоциации с висмутом (поздняя генерация). Химический состав саффлорита непостоянен. Примесь S в минерале может отсутствовать или достигать 15 мас. %. Также характерны примеси Fe и Ni. Соотношение

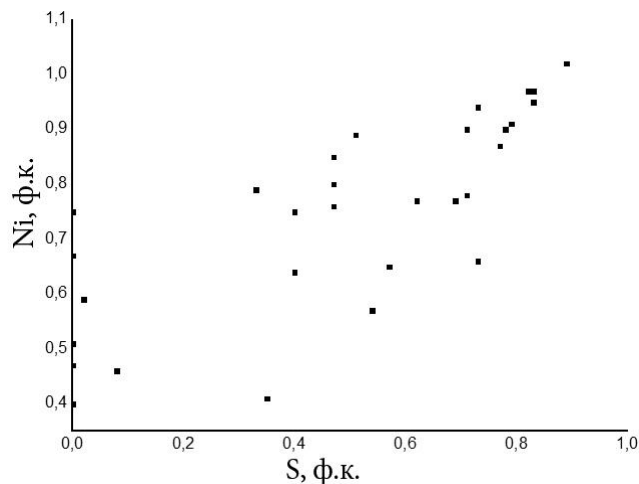


Рис. 1. Зависимость содержания серы и никеля.

примесей в генерациях сафлорита отличается. Ранний сафлорит содержит значительные (до 16 мас. %) количества никеля и крайне беден, вплоть до полного отсутствия, железом. Поздний сафлорит содержит до 8 мас. % железа и совсем не содержит никеля.

*Скуттерудит* ( $Co_4(As_4)_3$ ) имеет белый цвет, довольно твердый. Образует призматические, иногда зональные кристаллы. Другим крайним членом изоморфного ряда является *никельскуттерудит* ( $Ni_4(As_4)_3$ ). Химический состав минералов переменный. Примесь S незначительна (менее 2 мас. %), содержание As составляет 77–78 мас. %. Часто присутствует примесь Fe (иногда, до 6 мас. %). Минерал макроскопически зонален [Schlothauer et al., неопубликованная рукопись]. Наши исследования на электронном микроскопе показывают, что минерал зонален по содержанию железа. Зоны обычно неширокие (20–30 мкм), содержание железа в них варьирует от 1 до 2 мас. %.

*Лайтакарит*  $Bi_4(Se,S)_3$  – редкий минерал, обнаруженный в виде небольших зерен или каемок на границе никелина и раммельсбергита. Размер индивидов достигает 300 мкм. В одном зерне была установлена отчетливая полосчатость, которая, судя по нашим данным, не связана с вариациями химического состава этого минерала.

К рудным минералам месторождения также относятся уранинит, арсенопирит, халькопирит, пирит, кобальтин, галенит, селенид висмута. Но все они присутствуют в незначительном количестве и видимы лишь во вторично-отраженных электронах.

Отмечаются заметные количества самородного висмута и мышьяка, некоторые прожилки сложены ими почти целиком. Серебро обнаружено в виде небольших (до 0.5 мм) ксеноморфных зерен с примесью ртути, достигающей 25 мас. %. Акцессорными минералами являются фтор-

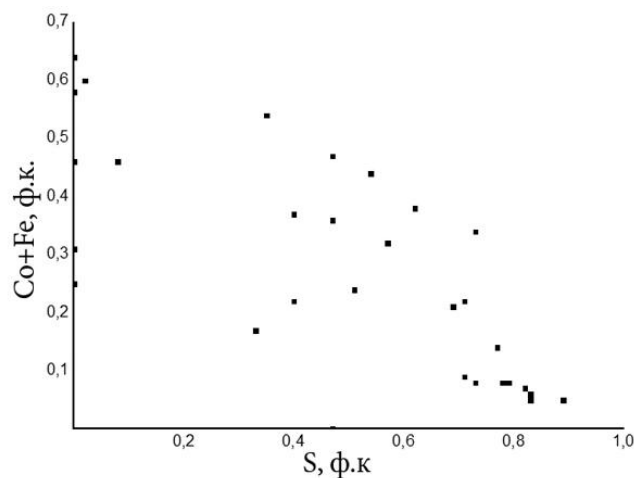


Рис. 2. Зависимость содержания серы и суммы содержания кобальта и никеля.

апатит, циркон, мусковит, гематит, рутил, браннерит, флюорит. В большом количестве в некоторых образцах представлены кварц, гипс, карбонаты – кальцит, анкерит, доломит, сидерит. Они слагают до 50–60 % пространства жил.

На основе полученных данных нам удалось уточнить последовательность минералообразования. Ранее были выделены семь стадий минералообразования – кварцевая, кварц-кальцит-урановая, кварц-флюоритовая, карбонат-уранинитовая, Ag-Bi-Co-Ni-As, серебро-сульфидная и железистая [Schlothauer et al., 2012]. Наш каменный материал представлен, в основном, образцами пятой стадии – Ag-Bi-Co-Ni-As. На основании взаимоотношений изученных минеральных ассоциаций нами уточнена последовательность минералообразования этой стадии: выделяется ранняя карбонатно-уранинитовая подстадия и кварц-арсенидная, плавно переходящая в висмутовую, и вторая карбонатно-уранинитовая подстадия, где уранинит богат иттрием. Последней подстадией в наших образцах является карбонатная.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (НИР № 3.38.286.2015). Анализы выполнялись в «Центре микроскопии и микроанализа», РЦ «Геомодель», РЦ «Рентгенодифракционные методы анализа».*

### Литература

Величкин В. И., Власов Б. П. Купольные структуры и гидротермальные урановые месторождения Рудных Гор (Саксония, ФРГ) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 1. С. 83–94.

Schlothauer Th., Klemm V., Renno A. D., Kohler A., Schimpf Ch. et al. Chemical and structural investigations on zoned Ni-Co-Fe-triarsenides of the skutterudite-group and its anomalous behavior under hydrous conditions (неопубликованная рукопись).

Schlothauer Th., Renno A., Hiller A., Heide G. The low temperature selenium mineralisation from the U-polymetallic deposit Schlemma-Alberoda in the western Erzgebirge (Germany). 2012. (неопубликованная рукопись).

**Э. В. Сокол<sup>1</sup>, С. Н. Кох<sup>1</sup>, О. А. Козьменко<sup>1</sup>, Х. Н. Хори<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
sokol@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> – Иорданский университет, г. Амман, Иордания

### **Кампан-эоценовые фосфоритоносные осадки центральной Иордании как потенциальные протолиты месторождений типа долины Миссисипи**

Территории от Марокко на западе до Турции на востоке (через Алжир, Тунис, Египет, Израиль, Иорданию, Сирию, Саудовскую Аравию и Ирак) объединяют в «Гигантскую фосфоритовую провинцию Тетиса» (*Tethys Giant Phosphorite*) [Nathan et al., 1997; Abed, 2012; Abed, Sadaqah, 2013]. Главным интервалом фосфоритообразования на территории Леванта является поздний кампан–ранний маастрихт. В это время в зоне южного сочленения океана Тетис и Арабо-Нубийского кратона на мелководном шельфе была сформирована толща, включающая мелы, известняки, мергели, фосфориты и кремни, и локально обогащенная рассеянным органическим веществом.